

University of Groningen

Emergent properties of bio-physical self-organization in streams

Cornacchia, Loreta

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

2018

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Cornacchia, L. (2018). *Emergent properties of bio-physical self-organization in streams*. [Thesis fully internal (DIV), University of Groningen]. Rijksuniversiteit Groningen.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Samenvatting

Zelforganisatie wordt in toenemende mate erkend als een belangrijk regulerend proces in ecosystemen. Veel studies naar zelforganisatie in de biologie hebben zich gericht op de emergente, d.w.z. spontaan verschijnende, effecten van zelfgeorganiseerde ruimtelijke patronen op biologische eigenschappen, zoals verhoogde productiviteit of veerkracht tegen verstoringen. Ondanks het veelvuldig voorkomen in biologische theorieën is zelforganisatie nog niet uitgebreid onderzocht in geofysische studies. De meeste studies slagen er niet in de wisselwerking tussen biologische en fysische processen volledig in het onderzoek mee te nemen. Hierdoor is onbekend of het zelforganisatieproces dat voortkomt uit deze terugkoppelingen ook emergente effecten heeft op zowel fysische als biologische eigenschappen. In dit proefschrift bestudeer ik, uitgaand van onderwaterplanten in beken als modelsysteem, de emergente effecten van zelforganisatie – ten gevolge van de tweezijdige interactie tussen plantengroei en herverdeling van waterstroming – op zowel hydrologische als ecologische processen. In het bijzonder onderzoek ik de rol van zelforganisatie van zulke waterplanten in termen van regulatie van de waterstroming (stroomsnelheid en diepte), biologische interacties (groei, verspreiding en ruimtelijke patroonvorming) en opname van nutriënten. Mijn onderzoek combineert veldexperimenten en veldobservaties, stroomgootexperimenten in het laboratorium en wiskundige modellen.

In Hoofdstuk 2 onderzoek ik of zelforganisatie, ten gevolge van de tweezijdige interactie tussen plantengroei en herverdeling van waterstroming, emergente gevolgen heeft voor de hydrodynamiek op de schaal van de beek. In een gecombineerde wiskundige model- en empirische studie laat ik zien dat het zelforganisatieproces heterogeniteit creëert in plantenbiomassa en waterstroming. Dit stabiliseert zowel stroomsnelheid als waterhoogte onder variabele rivierafvoer, met gunstige effecten op voor het ecosysteem. Mijn resultaten leggen daarom een belangrijke link bloot tussen plantgedreven zelforganisatieprocessen in

beekecosystemen en de ecosystemendiensten die deze beken leveren in termen van waterstroomregulering en habitatdiversiteit.

De in Hoofdstuk 2 bestudeerde regulering van de waterstroming door onderwaterplanten wijst op belangrijke implicaties van plantgedreven hydrodynamische heterogeniteit voor soorteninteracties en biodiversiteit. In Hoofdstuk 3 onderzoek ik daarom de relatie tussen zelforganisatie en facilitatie. Modelvoorspellingen suggereren dat zelfgeorganiseerde patroonvorming de co-existentie bevordert van plantensoorten in leefgemeenschappen in stromend water door een “landschap van facilitatie” te creëren. Hierin ontstaan meerdere nieuwe niches voor soorten die zijn aangepast aan een breed scala aan hydrodynamische condities. Modelvoorspellingen worden bevestigd door veldwaarnemingen van samen voorkomende soorten en transplantatie-experimenten die de hypothese van facilitatie ondersteunen. Deze studie benadrukt dan ook dat begrip van de wijze waarop competitie en facilitatie in veel ecosystemen met elkaar wisselwerken cruciaal is voor een succesvol beheer van biodiversiteit.

Het zelforganisatieproces zoals beschreven in Hoofdstuk 2 en 3 is gebaseerd op het omleiden van waterstroming rond vegetatie. Omleiding van fysische krachten is een algemeen mechanisme dat in veel ecosystemen ten grondslag ligt aan patroonvorming door soorten. Tot op heden is echter onbekend of de onderliggende mechanismen voor zelfgeorganiseerde ruimtelijke patroonvorming van belang zijn voor het faciliteren van soortenvestiging. Het invangen van plantpropagulen door reeds aanwezige vegetatie is een belangrijk knelpunt voor de vestiging van waterplanten in beken. De waterstroming is zowel het transportmechanisme van plantpropagulen als de stressfactor die leidt tot ruimtelijke vegetatiepatronen. In Hoofdstuk 4 onderzoek ik de gevolgen van dit stromingsomleidingsmechanisme voor de facilitatie door het invangen van propagulen in reeds aanwezige plekken met vegetatie, gebruikmakend van mesocosmos-, stroomgoot- en veldstudies. Mijn onderzoek suggereert dat terugkoppeling tussen de herverdeling van vegetatie en de waterbeweging, wat tot zelforganisatie leidt, de vestiging van waterplantensoorten kan vergemakkelijken tijdens hun verspreiding en eerste kolonisatie.

In Hoofdstuk 5 test ik of het patroon van ruimtelijk verspreide patches van waterplanten, ten gevolge van de tweezijdige wisselwerking tussen vegetatie en

hydrodynamiek, invloed heeft op de vegetatievestiging door facilitatie *binnen* eenzelfde soort. Manipulatie-experimenten in het veld demonstreren dat vegetatie in beken zichzelf in V-vormen schikken om hydrodynamische krachten en weerstand te minimaliseren, vergelijkbaar met de vluchtformatie van trekvogels. Mijn bevindingen onderstrepen dat biofysische interacties vormgeven hoe organismen zichzelf positioneren in landschappen blootgesteld aan fysische stromingen.

In Hoofdstuk 6 verken ik ten slotte de emergente effecten van zelfgeorganiseerde ruimtelijke patronen, ontstaan door verschillende soorten, op de grondstofopname. Veel studies aan plant-hydrodynamische terugkoppelingen gaan uit van één plantensoort. Natuurlijke landschappen zijn echter diverse leefgemeenschappen bestaand uit plekken van verschillende soorten met tegengestelde eigenschappen. Deze plekken beïnvloeden elkaar mogelijk door hun hydrodynamische effecten, bijvoorbeeld door beïnvloeding van de grondstofopname, die cruciaal is voor de productiviteit. Mijn bevindingen suggereren dat plukken macroscopisch grote waterplantsoorten met elkaar wisselwerken door de grondstofopname te vergemakkelijken door de turbulentie te veranderen. Dit test ik aan de hand van experimenten in een rondlopende stroomgoot waarbij hydrodynamische metingen gecombineerd worden met ¹⁵N gelabelde ammonium-incubaties. Mijn onderzoek toont het belang aan van turbulentie als interactiemiddel tussen verschillende soorten. De bevindingen suggereren bovendien dat interacties tussen heterogeen verdeelde meersoortige plukkerige vegetatie cruciaal zijn om het functioneren van het aquatische ecosysteem en de verdiensten van nutriëntenladingsvermindering te kunnen begrijpen.

Concluderend belicht mijn onderzoek de cruciale emergente effecten van zelforganisatie op een breed scala aan fysische en biologische eigenschappen in ecosystemen. Deze studie legt een tot nog toe onontdekt verband bloot tussen zelfgeorganiseerde biologische patronen en ecosystemendiensten zoals stromingsregulering, habitat- en soortendiversiteit. Begrip van de regulerende rol van ruimtelijke zelforganisatie is essentieel voor het behoud van de waardevolle ecosystemendiensten die ze ondersteunt. In veel ecosystemen worden biofysische interacties nog altijd behandeld vanuit een statische benadering die de dynamische

terugkoppelingen niet volledig omvat. Toekomstige empirische- en modelstudies naar andere biogeomorfologische landschappen zouden moeten trachten deze wederzijdse terugkoppelingen verder mee te nemen. Dit zal bijdragen aan ons begrip van het volledige scala aan emergente eigenschappen van ruimtelijke patroonvorming in ecosystemen en bredere toepasbaarheid van de hier gepresenteerde conclusies. De bevindingen in dit proefschrift suggereren ook hoe biofysische interacties benut kunnen worden om beheer en herstel van aquatische ecosystemen te sturen. Zo kunnen onze fundamentele onderzoeksvragen over zelforganisatie direct gekoppeld worden aan toegepast onderzoek. Dergelijke koppelingen zijn waardevol om beheer en behoud van ecosystemen in goede banen te leiden.